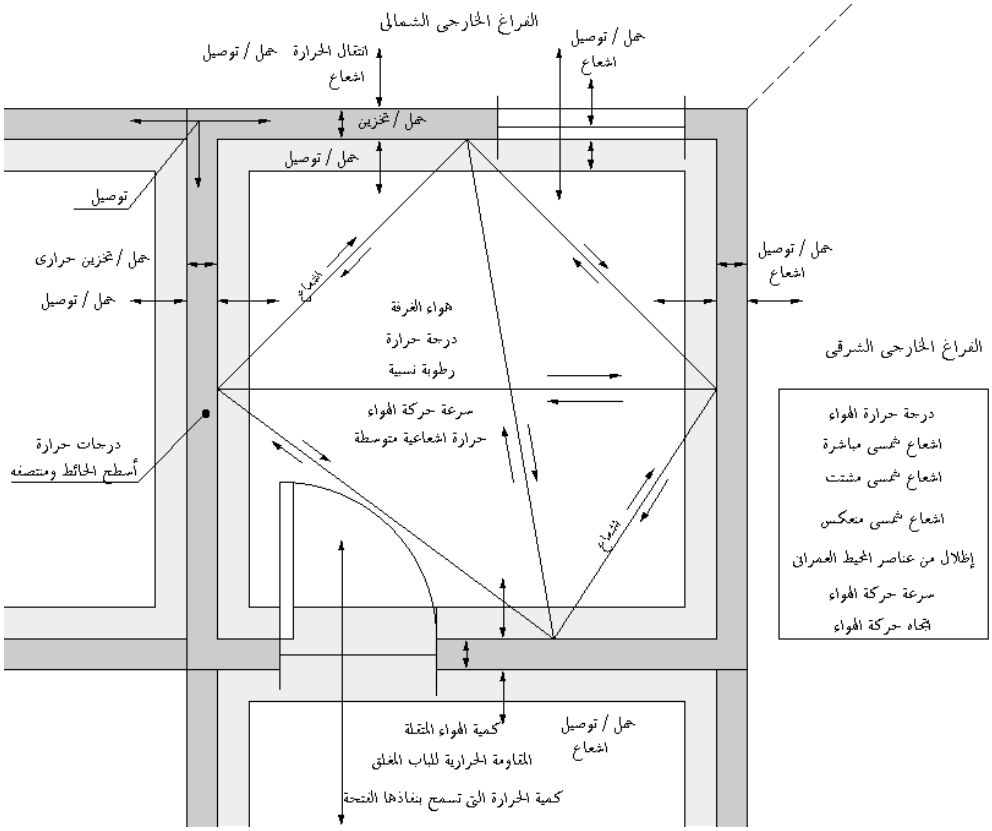
١- المتغيرات العددية لتحليل السلوك الحرارى للمبانى:

من المفهوم أن الهدف الرئيسى للتصميم المناخى هو تحقيق الراحة الحرارية فى الفراغ، و ليمكن تقييم الكفاءة المناخية لأى حل معمارى أو عمرانى كميا لا بد من حساب المتغيرات التى تؤثر على الراحة الحرارية داخل كل فراغ من فراغات المبنى.



فلو فرضنا أننا نقوم بدراسة السلوك المناخى لغرفة افتراضية مثل الموضحة بشكل (٧-١)، لتقييم ظروفها المناخية:

أ- ما هى المتغيرات التى يجب معرفة قيمها للحكم على مستوى الظروف المناخية؟

ب- ما هى المؤثرات التى تغير من قيم هذه المتغيرات؟

جـ- كيف تتم عملية تغير قيم هذه المتغيرات؟

أ- المتغيرات المطلوبة:

المؤثرات البيئية التى تتحكم فى الشعور بالراحة الحرارية فى الفراغ هى:

١- درجة حرارة هواء الغرفة.

٢- الرطوبة النسبية للهواء فى الغرفة.

٣- سرعة حركة الهواء داخل الغرفة.

٤- درجة الحرارة الإشعاعية المتوسطة بالغرفة.

بالطبع تختلف قيم هذه المتغيرات من نقطة إلى أخرى داخل فراغ الغرفة لذا وعلى سبيل التبسيط، نحدد قيم هذه المتغيرات عن نقطة واحدة تقع فى منتصف الغرفة.

وليتم التنبؤ بذه الظروف، يتم التعامل مع (هواء الغرفة) كعنصر رئيسى، يتحدد بثلاثة متغيرات هى درجة حرارته، ورطوبته النسبية، وسرعة حركته.

أما درجة الحرارة الإشعاعية المتوسطة فتحدد بناءاً على درجات حرارة أسطح الحوائط ومواصفاتا الإشعاعية، لذلك يجب التنبؤ بدرجات حرارة أسطح الحوائط.

ب- ما هى المؤثرات التى تغير من قيم المتغيرات المطلوبة:

أ- درجة حرارة الهواء:

إن كمية الطاقة الحرارية التى يكتسبها الهواء هى التى تغير من درجة حرارته صعوداً وهبوطاً، وتنتقل الطاقة إلى هواء الغرفة من عدة مصادر:

١- التبادل الحرارى مع الفراغ الخارجى مباشرة عبر الحوائط الخفيفة.

٢- التبادل الحرارى مع نسيج المبنى الثقيل (الحوائط، الأسقف، الأرضيات، ...).

٣- التبادل الحرارى مع الفراغات الأخرى عبر الفتحات (النوافذ - الأبواب).

٤- المصادر الحرارية الداخلية (البشر، المعدات والآلات، معدات التحكم المناخى).

ب- درجة الرطوبة:

تتغير درجة الرطوبة بطريقتين:

١- ثبات محتوى الهواء من الرطوبة، ونقص الرطوبة النسبية أو زيادتا بسبب ارتفاع أو انخفاض فى درجة حرارة الهواء.

٢- التغير فى محتوى الهواء من الرطوبة نتيجة:

أ- التكثيف أو التبخير.

ب- دخول تيار من الهواء الخارجى له درجة رطوبة مختلفة.

جـ التنفس الذى يتسبب فى زيادة محتوى الفراغ من الرطوبة.

جـ- سرعة حركة الرياح:

ويؤثر فيها ثلاث عوامل:

١- تيارات الحمل الطبيعية، نتيجة اختلاف درجات الحرارة بين الأسطح والفراغ.

٢- تيارات الحمل القسرى الناتجة عن حركة الهواء عبر الفتحات.

٣- معدات تحريك الهواء الميكانيكية.

د- درجة الحرارة الإشعاعية والمتوسطة:

١- درجات حرارة أسطح الحوائط.

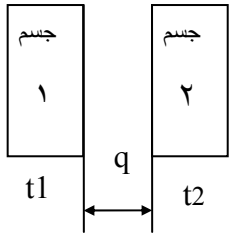
٢- إنبعاثية الحوائط.

٣- أبعاد الحوائط ومعامل المواجهة بينها وبين مركز الغرفة.

٤- النوافذ والإشعاع الشمسى المار منها أو الإشعاع إلى السماء المظلمة ليلاً.

بعد هذا العرض السريع لمعظم المتغيرات الكمية التى تؤثر على السلوك الحرارى للمبنى، يتم التركيز على سلوك عناصر الغلاف الخارجى وكيف تؤثر فى الخواص الحرارية للفراغ الداخلى، كما يتم تناول تفاعل غلاف المبنى مع الفراغات الخارجية.

٢- التبادل الحرارى بالتوصيل مع الأجزاء الثقيلة من غلاف المبنى



تتم عملية التبادل مع الأجزاء الثقيلة من غلاف الفراغ (مثل مبانى الحوائط والأسقف الخرسانية بطريقة تختلف عن العناصر الخفيفة مثل النوافذ أو القواطيع، وسنتناول فى هذا القسم عملية الانتقال الحرارى فى عناصر الغلاف الثقيلة مثل الحوائط أو الأسقف والأرضيات، التى تتشابه لحد كبير فى طرق انتقال الحرارة عبرها، وإن كانت كلمة الحوائط ستستخدم فى معظم الأحوال للتعبير عن سلوك هذه العناصر.

لحساب تأثير التبادل الحرارى بين الحائط وهواء الغرفة خلال فترة معينة يجب أن تعرف.

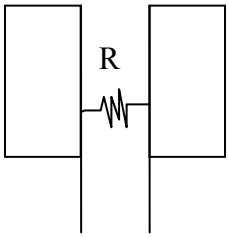
أ- كمية الحرارة المنتقلة من الحائط للفراغ (أو العكس) خلال هذه الفترة.

ب- تأثير كمية الحرارة التى انتقلت للهواء على درجة حرارته.

جـ- درجة حرارة الحائط.

أ- كمية الحرارة المنتقلة من الحوائط للفراغ:

لو افترضنا وجود جسمين يفصل بينهما مادة عازلة فكيف يمكن تحديد كمية الحرارة المنتقلة؟



يتوقف معدل سريان الحرارة المنتقلة بين الجسمين على:

١- فارق درجات الحرارة بينهما.

٢- المقاومة الحرارية للمادة الفاصلة بينهما.

$$q = (t1 - t2) / R$$

وبتحديد مدة سريان الحرارة ومعدل السريان يمكن تحديد كمية الحرارة التى انتقلت بين الجسمين.

$$Q = q \times time$$

ولكن انتقال الحرارة يتم بين سطح الحائط وهواء الغرفة بطريقة معقدة بعض الشىء، فطبقة الهواء الملامسة للحائط تسخن بتأثير حرارة الحائط وترتفع لأعلى، لتحل محلها طبقة جديدة، ويتوقف معدل انتقال الحرارة على سرعة حركة الهواء فى هذه الطبقة السطحية وخواصها.

ويمكن عددياً التعامل مع هذه الطبقة السطحية على أنا طبقة عازلة تفصل بين الحائط وهواء الغرفة.

ويتوقف معدل السريان بالتالى بين هواء الغرفة والحائط على درجتى حرارتا، وعلى مقاومة هذه الطبقة العازلة.

وتختلف القيمة العددية لمقاومة هذه الطبقة تبعاً لكل من:-

١- اتجاه سريان الحرارة:

حيث تتغير المقاومة السطحية إذا كان سريان الحرارة أفقياً أو من لأعلى أو لأسفل.

٢- سرعة حركة الهواء:

وفى الفراغ الداخلى حيث يكون الهواء ساكناً تقريباً، يمكن استخدام القيم التالية للمقاومة السطحية.

سريان الحرارة إلى أعلى: المقاومة تساوى ٠,١٠٦ م٢ / وات

سريان الحرارة إلى أسفل: المقاومة تساوى ٠,١٥ م٢ / وات
سريان الحرارة إلى أفقياً: المقاومة تساوى ٠,١٢٣ م٢ / وات
أما إذا كانت وسائل تحريك للهواء بسرعة عالية داخل الفراغات، (أو فى حالة الفراغات الخارجية)

يتم حساب المقاومة السطحية تبعاً للمعادلة التالية:

$$Rsurface = 1 / \{(5.8 + 4.1\ V) + 4.4\}$$

حيث (V) هى سرعة حركة الهواء.

تغير درجة حرارة الهواء نتيجة الحرارة المنتقلة:

عند اكتساب أى جسم مادى كمية من الحرارة ترتفع درجة حرارته بمقدار يتوقف على سعته الحرارية، وهى كمية الطاقة التى يحتاجها لكى ترتفع درجة حرارته بمقدار درجة مئوية واحدة.

وهى تتوقف على كتلة الجسم وحرارته النوعية وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتلة منه بمقدار ١° م .

وفى حالة الهواء ذو الكثافة القليلة جداً تستعمل الحرارة النوعية الحجمية، وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الحجم بمقدار ١° م.

والحرارة النوعية الحجمية للهواء يمكن اعتبارها ١,٢ك جول/ ° م /م٣

أى أن المتر المكعب من الهواء يحتاج إلى ١,٢ك جول لكى ترتفع درجة حرارته بمقدار ١° م.

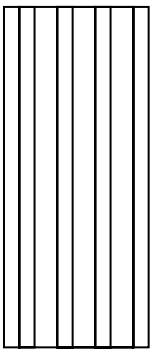
$$\Delta t = Q / 1200\ ^\circ C$$

والحرارة النوعية للهواء ليست ثابتة، بل تتغير تغيار طفيفاً بتغير درجة الحرارة حيث يتمدد الهواء وتقل كثافته، وكذلك تتغير بتغير محتواه من الرطوبة، وهو ما يعرف بالخواص السيكرومترية للهواء .

والحرارة النوعية للهواء عامةً منخفضة جداً، أى أن أقل اكتساب من الحرارة للهواء يمكن أن يرفع درجة حرارته بمقادير كبيرة.

درجة حرارة الحائط:

وينطبق على الحائط نفس ما ينطبق على الهواء، حيث تتغير درجة حرارته عند فقده أو اكتسابه للطاقة، بمقدار يتوقف على سعته الحرارية، ولكن تختلف الحائط عن الهواء فى عدة فوارق هامة:



١- سعته الحرارية كبيرة جداً مقارنة بالهواء، فمثلاً المتر المربع من طبقة البياض ذات سمك ٢سم، تحتاج إلى ٢٦ك جول لترتفع درجة حرارتها ١°م (تماثل السعة الحرارية لـ ٢١ م٣ من الهواء) أما نفس السمك من الطوب فسعته الحرارية تكون ٢٧,٢ك جول.

٢- تتوقف درجة حرارة الحائط لحد كبير على درجة الحرارة الخارجية، حيث تنتقل الحرارة من الهواء الخارجى للحائط ومنه إلى الفراغ الداخلى، لذا يجب أولاً التنبؤ بدرجة حرارة الحائط.

٣- نظراً للسعة الحرارية الكبيرة لمادة الحائط، تستغرق الحرارة وقتاً كبيراً للانتقال منه وإليه، فإذا افترضنا أن سطح الحائط تم تعريضه لهواء خارجى درجة حرارته ٣٥° م مثلاً بينما باقى الحائط درجة حرارته ٢٠° م، سيستهلك طبقة البياض وحدها ٢٦ك جول لكى ترتفع درجة حرارتها ١° م لكى يحدث فارق فى درجة الحرارة بينها وبين الطوب لكى يبدأ انتقال الحرارة إليه بالتالى.

ولو اعتبرنا أن قيمة المقاومة السطحية الخارجية ٠,١ لوجدنا أن:

$q = \Delta t / R = 10 / 0.1 = 100$ watt

$Q = q / time$

$time = Q / q = 26.000 / 100 = 260$ sec. = 5 minutes

بينما تكون درجة حرارة الطبقات الداخلية من الحائط لا تزال حرارتا لم تتغير وباستمرار انتقال الحرارة لمدة أطول ترتفع درجة حرارة طبقة البياض الخارجى.

فلو حاولنا أن نحتسب كمية الحرارة التى تنتقل إلى طبقة البياض الخارجى خلال ١٠ دقائق، لوجدنا أنا:

$Q = 100 \times 60 \times 10 = 60.000$ Joul

يكفى لرفع درجة حرارة طبقة البياض بمقدار ٢,٣° م.

وفى هذه الحالة ينشأ فارق فى درجة الحرارة بين طبقة البياض وطبقة الطوب التالية لها مباشرة بمقدار ٢,٣° م، وبافتراض أن المقاومة الحرارية بين الطبقتين ٠,٠٥° م / وات م٢

تسرى الحرارة بين الطبقتين بمعدل:

$q = 2.3 \times 0.05 = 46$ watt

أى أنه خلال الدقائق العشر التالية ستكون كمية من الحرارة مقدارها:

$46 \times 10 \times 60 = 27600$ Joul

قد انتقلت بين الطبقتين، مما يرفع درجة حرارة طبقة الطوب بمقدار $27600/27200 = 1.01\ ^\circ C$

أى أن درجة مئوية واحدة لتصبح ٢١° م وفى هذه الأثناء ترتفع درجة حرارة طبقة البياض بمقدار جديد

$q = (30 - 22.3) / 0.1 = 77$ watt

ولكن هذه الطبقة تكون قد فقدت 27600 Joul التى اكتسبتها طبقة الطوب أى أن الاكتساب الصافى يصبح:

$Q = 77 \times 600 = 46200$ Joul

أى ترتفع درجة حرارة الحائط بمقدار : $Q = 46200 / 26000 = 1.8\ ^\circ C$

لتصل إلى ٢٤,١° م

وهكذا باستمرار انتقال الحرارة من طبقة إلى طبقة من سمك الحائط تنتقل الحرارة إلى الهواء الداخلى للفراغ، ونشأت داخل الحائط (تدرج حرارى) حيث ترتفع درجة حرارة الطبقات الخارجية لتقارب درجة حرارة الهواء الخارجى، بينما تبقى درجات حرارة الطبقات الداخلية من الحائط أقرب لدرجة حرارة الهواء الداخلى.

ويلاحظ أن المثال السابق أنه خلال الدقائق العشر الأولى كان معدل انتقال الحرارة من الهواء للحائط 60K Joul فقط، وهو ما يعنى أن معدل سريان الحرارة يتغير بتغير الفارق فى درجة الحرارة بين العنصرين، فإذا أدت عملية انتقال الحرارة لأى تغير فى درجة حرارة أحدهما، تغير الفارق بينهما فوراً، وتغير بالتالى معدل السريان مع الزمن.

بل إن المثال السابق افترض أن معدل سريان الحرارة ظل ثابتاً طوال مدة الدقائق العشر، وهو افتراض غير دقيق فى حد ذاته، فالفارق فى درجات الحرارة يتغير لحظياً مع كل انتقال لأى كمية من الحرارة.

ولاستنتاج المعادلة التى تربط السريان بالزمن، نجدها معادلة تفاضلية جزئية، فإذا أخذنا فى الاعتبار أن:

طبقة الطوب الملاصقة للبياض هى الأخرى تتبادل معه الحرارة بمعادلة تفاضلية أخرى لوجدنا أن الأمر أصبح معقداً، وبإضافة التغير فى درجة حرارة الهواء الخارجى إلى المعادلة تصل إلى (عقدة رياضية) تستعصى على الحل.

الطرق العددية لدراسة انتقال الحرارة:[1]

والطرق العددية تلجأ لحل المشكلة بتقسيم المتغيرات غير الخطية إلى مجموعة كبيرة من المتغيرات الصغيرة ليمكن التعامل معها ويتم تطبيق نوعين من الطرق العددية لحل مشكلة انتقال الحرارة غير الحوائط الثقيلة.

١- الفوارق المحددة: Finile Difference

تعتمد هذه الطريقة على تقسيم وقت انتقال الحرارة إلى فترات زمنية قصيرة جداً، يفترض خلالها أن الفارق فى درجة الحرارة ثابت، أى أن معدل السريان أيضاً ثابت وبالتالى تتغير درجة الحرارة خطياً خلال هذه الفترة.

ومجرد انتهائها، يتم حساب الفارق الجديد فى درجة الحرارة بين طرفى الانتقال، وحساب المعدل الجديد وهكذا.

وتختلف طول هذه الفترة الزمنية الصغيرة تبعاً للفوارق فى سرعة السريان بين الحالات المختلفة، فعند حساب السريان الحرارى بين أجسام ذات سعة حرارية صغيرة مثل الهواء، قد تحتاج لفترة زمنية فى حدود الدقيقة، خاصة فى حالة وجود فارق كبير فى درجة الحرارة

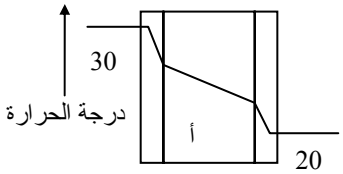
أما الحوائط الخفيفة المتوسطة فقد يكون الزمن الملائم فى حدود ٥ - ١٥ دقيقة، وفى حالة المبانى الثقيلة يمكن أن يصل الفترة الزمنية إلى نصف ساعة.

ويتم تكرار عملية حساب كمية الحرارة المنتقلة ثم درجات الحرارة الجديدة لعدد كبير من المرات تغطى كل النطاق الزمنى محل الدراسة، (وهى فترة عام كامل ليمثل سلوك المبنى)، ورغم صعوبة ذلك يدوياً، إلا أنه مهمة طبيعية بالنسبة للحاسب الآلى الذى يتناسب مع العمليات التكرارية.

وعملية التقسيم تسبب نقصاً فى الدقة وظهور بعض الأخطاء errors وكلما صغرت الفترة الزمنية كلما زادت الدقة، وقل الخطأ، ولكن تزيد أيضاً مرات التكرار وطول مدة استخدام الحاسب والحمل على ذاكرته، كذا من الواجب اختيار طول الفترة الزمنية بحرص، حتى لا تكون كبيرة جداً بأخطاء فادحة، أو صغيرة جداً تضيع وقت الحاسب (والمصمم الذى يستخدمه) بدون داعى أو زيادة محسوسة فى الدقة.

٢- العناصر تامة التحديد: Finite Element

فى حالة استقرار الفارق فى درجة الحرارة بين الفراغ الداخلى والخارجى يكون توزيع درجات الحرارة داخل الحائط خطياً تقريباً ولكن إذا افترضنا أن درجة حرارة منتصف الحائط هى ٢٥ درجة كما فى المثال السابق،

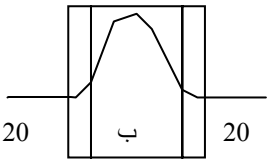


وهبطت درجات الحرارة بالخارج فجأة، ماذا سيكون توزيع درجات الحرارة داخل الحائط؟

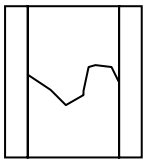
سيكون الهواء فى جانبى الحائط أبرد منه، وسيتخذ منحنى التدرج الحرارى شكلاً أشبه الرى (شكل ٤-٥/ب)، وفى حالة استخدام حوائط ثقيلة جداً فى مناطق ذات مدى حرارى واسع

1كارليكار ودزموند، انتقال الحرارة، ص ٧٤٣

(مثل الصحارى الحارة) فسنجد أن درجة حرارة سطح الحائط الخارجى يبدأ فى الارتفاع صباحاً قبل أن يكون الحائط قد برد تماماً من حرارة اليوم السابق.



مما يعنى أنه من الصعب افتراض أن كل الحائط عنصر حرارى واحد تتغير درجات الحرارة داخله خطياً، بل تتوزع درجات الحرارة فى كل نقطة منه إعتماداً على عدة متغيرات.



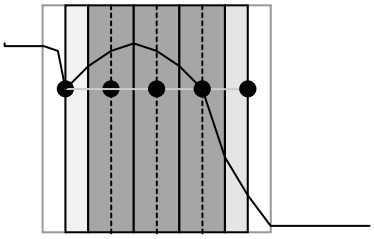
٥/٤

ولحل هذه المشكلة عددياً، يتم تقسيم الحائط فى سلسلة من الطبقات الرقيقة يعامل كل منها على أنه عنصر حرارى تتغير درجات الحرارة داخله خطياً، بناءاً على مجموعة من الافتراضات:

١- درجة حرارة الطبقة تمثل بدرجة حرارة نقطة فيها تسمى (العقدة).

٢- عقدة الطبقات الداخلية تقع فى منتصفها، وعقدة الطبقات السطحية تقع على سطحها الخارجى.

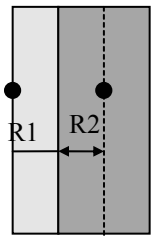
٣- تدرج الحرارة بين كل عقدتين يكون خطياً.



٤- المقاومة الحرارية بين كل عقدتين هى مجموع مقاومة المواد التى تشغل المسافة بين العقدتين.

٥- يتم تقسيم الحائط إلى مجموعة من الطبقات الداخلية وطبقتين سطحيتين، بحيث يكون سمك الطبقة السطحية نصف سمك الطبقة الداخلية. (وفى حالة الحوائط المبيضة يمكن اعتبار البياض طبقة سطحية وتقسيم جسم الحائط المبنى بالطوب إلى طبقات سمكها أقرب ما يكمن لضعف سمك البياض (٢ - ٢,٥سم).

مثلاً حائط ١٢سم يقسم إلى ٣طبقات (٣ × ٤سم)، حائط سمك ٢٥سم يقسم إلى ٦طبقات (٦ × ٤,١٥سم) وهكذا.



٦- الهواء يمثل بعقدة هو الآخر.

٧- المقاومة بين العقدة السطحية والهواء هى المقاومة السطحية للحائط.

ويتم متابعة انتقال الحرارة عبر الحائط عن طريق حساب درجة حرارة كل طبقة ومعدل انتقال الحرارة بينها وبين الطبقة التالية لها. مثلما سبق شرحه فى المثال السابق، وذلك عبر الفترات الزمنية الصغيرة المتتابعة.

وكلما زادت دقة تقسيم الحائط لعدد أكبر من الطبقات زادت دقة الحل، وصغرت السعة الحرارية لكل طبقة مما يساعد على استخدام فترة زمنية أطول للتكرار.

وهكذا تكون الطريقة العددية التكرارية لحساب درجات حرارة الحائط ومعدل انتقال الحرارة بينه وبين هواء الغرفة معتمدة على دورتين للتقسيم، الأولى تقسيم الزمن إلى فترات صغيرة ذات (فوارق حرارية محددة)، finite differences ، ويقسم الحائط إلى مجموعة من العناصر المحددة finite elements .

مثلاً عملية انتقال الحرارة بين فراغين عبر حائط ١٢سم مبنى من الناحيتين سيحتاج إلى ٧عقد (٢للهواء الداخلى والخارجى، ٢للبياض، ٣للطوب) وإذا أردنا حساب ذلك لمدة يوم واحد، تقسم إلى ٩٦ فترة زمنية، وبالتالى تكون عدد مرات تكرار العملية تكون:

٩٦ × ٧ = ٦٧٢ مرة.

٣- ميزان الطاقة:-

عند كل عقدة تتم عملية حسابية تسمى (ميزان الطاقة) للتنبؤ بكل من :

١- محتوى العقدة من الطاقة (وهى تساوى درجة حرارتا × سعتها الحرارية) tc .

٢- مجموع الحرارة التى تكتسبها Qin .

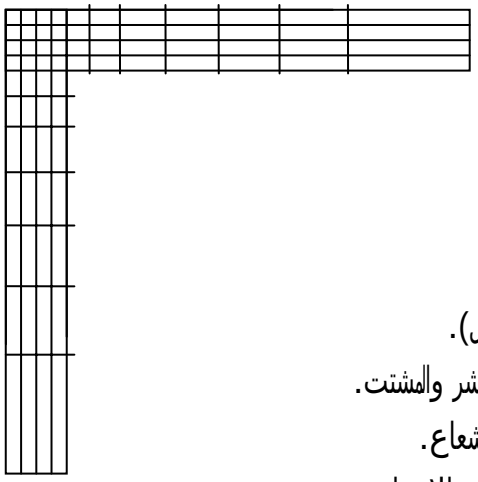
٣- مجموع الحرارة التى تنفذها Qout .

وليتحقق قانون بقاء الطاقة، يجب أن تكون :

$\Delta tc = Qin - Qout$

ولما كانت السعة الحرارية للعقدة معروفة، يمكن من ذلك استنتاج درجة الحرارة إذا علمت كمية الطاقة الصافية المكتسبة أو المفقودة، وكذلك العكس.

إن العمليات المذكورة فى القسم السابق هى الأساس الرئيسى لعملية التمثيل الرقمى للسلوك الحرارى للمبانى، والمبنية على الطرق العددية المذكورة، للتنبؤ بالسلوك الحرارى للعناصر المعمارية الثقيلة مثل الحوائط والأسقف.



تتأثر درجة حرارة الحائط بعدة عوامل:

١- التبادل الحرارى مع هواء الغرفة.

٢- التبادل الحرارى مع الهواء الخارجى.

٣- انتقال الحرارة عبر نسيج الحائط.

٤- التبادل الحرارى مع الحوائط الملاصقة (بالتوصيل).

٥- الاكتساب الحرارى من الإشعاع الشمسى المباشر والمشتت.

٦- التبادل الحرارى مع عناصر المحيط العمرانى بالإشعاع.

٧- الاكتساب الحرارى من مصادر الحرارة الداخلية بالإشعاع.

٨- التبادل الحرارى مع الحوائط الداخلية الأخرى بالإشعاع.

وقد تناولت الفقرات السابقة بالشرح كيفية تأثير العوامل الثلاثة الأولى.

التبادل الحرارى مع الحوائط الملاصقة (بالتوصيل).

عند أركان التقاء الحوائط، يحدث تبادل حرارى بالتوصيل بينها إذا كانت درجات حرارتا مختلفة، وينتج عن ذلك عدم انتظام توزيع درجات الحرارة لسطح الحائط، وتحدث تأثير هذا الانتقال بشكل أوضح عند أطراف الحوائط أكثر مما يبدو عن منتصفها.

وليتم حساب كمية الحرارة المنتقلة بذه الطريقة يجب تقسيم الحائط إلى عناصر تامة التحديد فى الأبعاد الثلاثة وليس فى بعد واحد (ينقسم الحائط إلى طبقات) كما سبق.

ويمكن أن يؤدى ذلك إلى زيادة هائلة فى تعقيد وزمن تشغيل برامج التمثيل الرقمى، حيث تتناسب عدد دورات التشغيل مع مكعب عدد الوحدات المحددة، أى أن تقسيم الحائط إلى عناصر محددة فى الأبعاد الثلاثة قد يتسبب فى مضاعفة زمن التشغيل آلاف المرات!!

ولذلك تعتبر معظم البرامج التمثيل الرقمى، حتى المعقدة جداً منها (مثل +energy) أن توزيع الحرارة منتظم على كامل سطح الحائط أو السقف، لأن ذلك يبسط الحسابات بشكل كبير ولا يخل بالدقة بقدر يخشى منه، حيث أن أى قيمة زائدة فى المحتوى الحرارى للحائط يتم انتقالها (حسابيا) عن طريق الإشعاع بين الحوائط، وهو ما يؤدى إلى تصحيح نسبة كبيرة من الخطأ.

لذلك لا يتم التعامل مع هذا المتغير (انتقال الحرارة بالتوصيل عبر أى كان الحوائط) من النماذج التمثيلية لسلوك المبنى بكامله، بينما يمكن استعمالها فقط عند عمل دراسات محددة لغرفة واحدة لدراسة متغير أو معالجة محددة، وسيتم لاحقا تحديد كيف يتم حساب قيم الحرارة المتبادلة بالإشعاع بين الحوائط.

٣- الاكتساب الحرارى من الإشعاع الشمسى[1].

عند سقوط الإشعاع الشمسى سواء المباشر أو المشتت على السطح الخارجى للحوائط والأسقف، ينعكس جزء من هذا الإشعاع ويمتص جزء منه، وهذه النسبة الممتصة تؤثر على ميزان الطاقة للطبقة السطحية للحائط، حيث تؤدى إلى رفع درجة حرارتا لما يزيد عن درجة حرارة الهواء الخارجى أحياناً، (خاصةً فى حالة الإشعاع الشمسى المباشر)، ويغير بالتالى من درجات حرارة باقى طبقات الحائط وتأثيره على درجة حرارة الفراغ الداخلى، وفى حالة الأسقف النهائية نجد أن هذا التأثير يزيد عن تأثير انتقال الحرارة من الهواء الخارجى للسقف.

أ- الإشعاع المباشر:

١ـ شدة الإشعاع الشمسى المباشر العمودى:

وهى كمية الطاقة الساقطة على وحدة المساحات من سطح عمودى على اتجاه الأشعة خلال وحدة الزمن.

وهذه القيمة يمكن أن تكون منشورة فى الجداول المناخية أو أن يتم استنتاجها من بعض المعادلات والجداول (ملحق ...)، ويتم تناول كيفية حسابا فى القسم الخاص بتمثيل الظروف المناخية رقمياً.

٢ـ زاوية سقوط هذه الأشعة على السطح:

حيث تزيد كمية الطاقة الساقطة على وحدة المساحات من السطح كلما قلت زاوية سقوط الأشعة على السطح، وتصل إلى أقصى قيمها عندما يكون الإشعاع عمودياً على السطح (زاوية السقوط = صفر)، وتتحدد شدة الإشعاع الساقط على السطح بزاوية سقوط IA بالمعادلة : $qd = Idn \cos IA$

حيث شدة الإشعاع الشمسى المباشر على السطح = Ids

شدة الإشعاع الشمسى العمودى = Idn

٣ـ امتصاصية السطح لأشعة الشمس:

حيث أن نسبة من الأشعة الساقطة يمتص فى السطح ويرفع درجة حرارته، بينما ينعكس الباقى (ويؤثر على الظروف الحرارية للموقع العمرانى).

[1] كارليكار ودزموند، انتقال الحرارة، ص ٣٥٥

والسطح المدهون باللون الأبيض يعكس ٧٠% من الإشعاع ويمتص ٣٠% ، أما الحوائط ذات الألوان المتوسطة مثل الرمادى أو البيج فيمتص ٥٠ % - ٧٠ % من الإشعاع، والأسطح الداكنة تمتص حوالى ٩٠ % من الإشعاع الساقط عليها. (جدول ٤ - ...).

ب- الإشعاع الشمسى المشتت:

يصل الإشعاع الشمسى المشتت إلى الحائط من جميع الاتجاهات من السماء وتتوقف كميته على:

شدة الإشعاع الشمسى المشتت (وات /م٣) كما يتم حسابا أو قراءتا من البيانات المناخية بتغير أخر النسبة التى يراها الحائط (form factor) من قيمة قبة السماء. (مقاسه بالزاوية الكروية المسمة) مقسومة على الزاوية المسمة لنصف الكرة (القبة السماوية ككل)،وهى بالنسبة لسطح أفقى غير مظلل تساوى ١٠٠% ، وبالنسبة للأسطح الرأسية التى تواجهها عناصر مرتفعة ٥٠ % ، أما فى حالة وجود مبانى أو أشجار أو مظلات تحجب جزءاً من السماء عن السطح، قيمة حساب زاوية معامل المواجهة لهذا العنصر وخصمها من معامل المواجهة العام لقبة السماء، وسيتم استعراض كيفية حساب عامل المواجهة وتعريفه لاحقاً فى هذا الفصل، وكذلك فى الفصل الخاص بوسائل الإظلال النوافذ.

جـ - الإشعاع الشمسى المنعكس:-

وسيتم مناقشته فى القسم التالى، (التبادل الحرارى مع عناصر المحيط العمرانى).

وهكذا يمكن حساب كمية الطاقة التى يستقبلها السطح الخارجى للحائط أو السقف، ويبقى تحديد تأثير هذه الطاقة على سلوكه الحرارى كمياً.

مثال (٤ - ٣):

مثال : الحائط المستخدم فى المثال (٤-٢) يتلقى ٥٠٠ وات/م٢ من الإشعاع الشمسى على سطحه المدهون باللون الأبيض، كيف يتم حساب درجة حرارة الحائط وكمية الحرارة المنتقلة إلى داخل الفراغ.

$$q = 0.3 \times 500 = 150 \text{ w}$$

أ- تحدد فترة زمنية تكرارية تحسب خلالها الطاقة الحرارية التى يتلقاها ١ م٢ من السطح، وليكن خمس دقائق :

$$Q = 150 \times 5 \times 60 = 45.000 \text{ Joul}$$

ب- ترتفع درجة حرارة السطح بمقدار $\Delta t = Q / C = 45.000 / 26.000 = 5.7$ ؛C

ترتفع درجة حرارة السطح بمقدار ١,٧ْ م، بالإضافة للارتفاع فى درجة حرارته الناتجة عن انتقال الحرارة من الهواء ٣٠ْ م إلى سطح الحائط ٢٠ْ م والذى يبلغ ١,١٥ْ م ليصبح درجة حرارة سطح الحائط ٢٢,٩ْ م .

وفى هذه الحالة يزداد معدل انتقال الحرارة إلى الطبقة التالية من الحائط بشكل كبير، ويقل معدل الانتقال فى الفترة الزمنية التكرارية التالية من الهواء للحائط.

الفاقد للطبقة التالية :- $q = \Delta t / R = 2.9 / 0.05 = 58 \text{ w}$

ترتفع درجة حرارة الطبقة الثانية :- $Q = 58 \times 5 \times 60 = 17400$ Joul

المكتسب من الهواء :- $q = (30 - 26.9) / 0.1 = 31 \text{ w}$

$$Q = 31 \times 5\ 60 = 9300 \text{ Joul}$$

بالإضافة للكمية المكتسبة من أشعة الشمس 150 kg

$$Qtotal = 450.000 + 9300 - 17400 = 36900 \text{ Joul}$$

وهو ما يرفع درجة حرارة الطبقة السطحية بمقدار :- $\Delta t = 36900 / 26000 = 1.42$ ؛C

فتصبح درجة حرارة السطح ٢٤,٤ْ م (أعلى من درجة حرارة الهواء).

وبتكرار العملية بضعة مرات أخرى تتزايد درجة حرارة الحائط ويزداد بالتالى معدل الفقد منه حتى يتساوى مع معدل الاكتساب وعندها تستقر درجة حرارة السطح الخارجى للحائط عند درجة حرارة تسمى درجة الحرارة الشمسية .Sol-air temp

ودرجة الحرارة الشمسية هى درجة حرارة سطح الحائط التى ينتج عنها نفس معدل التدفق الحرارى الذى ينتج عن دمج تأثير درجة حرارة الهواء والإشعاع الشمسى الساقط على السطح.

وهناك عنصر آخر هام يدخل فى حساب درجة الحرارة الشمسية، هو معدل الفقد بالإشعاع قصير الموجه من سطح الحائط أو السقف، ويحسب عادة بقيمة ١٠٠وات/م٢ بالنسبة للأسقف، ولا يحتسب قيمة له فى الحوائط على أساس أن الإشعاع الحرارى المعاد فيه من الأرض والحوائط المقابلة، تعادله، ولكن إذا أردنا دراسة التأثير المتبادل بين المبنى ومحيطه المناخى بجدية فلابد من حساب هذه الكميات.

وهناك عنصر هام آخر لا يجب إهماله، وهو فقد السطح الخارجى للحائط للطاقة بالإشعاع طويل الموجة إلى السماء مباشرة.

فمن المفهوم أن سطح يقوم ببث الإشعاع الحرارى طالما أن درجة حرارته أكبر من الصفر المطلق، وتتوقف كمية الإشعاع المنبعثة على درجة حرارته المطلقة وعلى إنبعاثيته.

درجة الحرارة المطلقة = درجة الحرارة المئوية + ٢٧٣ كلفن (K؛) T

الإنبعاثية [1]:-

نسبة الإشعاع الصادر من السطح إلى نسبة الإشعاع الصادر من سطح أسود مثالى عند نفس درجة الحرارة

$$E \text{ (ratio no dinerations)} \qquad e_r = sb\ E\ (T)^4$$

حيث sb هو ثابت ستيفان بولتزمان وتبلغ قيمته 577×10^{-8} مثلما يفقد السطح الإشعاع طويل الموجة، يستقبله أيضاً من كل الأسطح المحيطة به، وبذلك يكون الفقد الصافى للطاقة بالإشعاع طويل الموجة هو الفارق بين ما يبثه وما يستقبله هذا السطح.

وإذا أخذنا مثالاً لسقف نائى بمبنى، سنجد أنه يبث الإشعاع طويل الموجه إلى السماء مباشرة فى حالة صفائها ليلاً، دون أى إشعاع قادم من السماء. ولكن فى الحقيقة أن الغلاف الجوى للأرض ليس شفافاً تماماً للإشعاع طويل الموجه، وذلك بسبب نسبة ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء، مما يمنع هذا الإشعاع من النفاذ للسماء، ويعيد إشعاعه للأرض ثانية، وكأن السماء نفسها جسم ساخن له درجة حرارة معينة يبث الإشعاع للأرض، وتتلقى الأرض والمبانى إشعاعاً كهذا ليلاً لكنه عادة يقل عن الإشعاع الصادر عن الأرض والمبانى، ولهذا يتم التبريد الليلى بالإشعاع، ويزداد هذا التأثير كلما قلت رطوبة السماء (لذلك يزداد تأثير التبريد الليلى جداً فى الصحارى الجافة) إلا فى حالة وجود أتربة عالقة.

[1] كارليكار ودزموند، انتقال الحرارة، ص ٣٥٧

ودرجة حرارة السماء الإشعاعية هذه عادة ما يقل ١٠ْم - ٢٥ْ م عن درجة حرارة السماء الإشعاعية عن طريق المعادلة المنشورة بكتاب (التصميم المناخى) [١]

فإذا افترضنا أننا نريد تحديد كمية الحرارة التى يبثها سقف درجة حرارته ٤٠ْ م مثلاً للسماء التى لها هذه المواصفات الإشعاعية، يمكن حسابا التالى:

امتصاصية السقف للموجات القصيرة = ٠,٩ وتساوى انبعاثيته لها أيضاً.

درجة حرارة السطح = ٤٠ْ م = ٣١٣ْ ك

درجة حرارة السماء = ١٧,٢ْ م = ٢٩٠,٢ْ ك

الطاقة المنبعثة من السطح = $q_{roof} = 5.77 \times 10^{-8} \times 0.9 \times (313)^4$

الطاقة المنبعثة من السطح = $q_{sky} = 5.77 \times 10^{-8} \times 0.9 \times (290.2)^4$

$$q_{net} = q_{roof} - q_{sky} = 5.77 \times 10^{-8} [(313)^4 - (290.2)^4]$$

ولتبسيط حسابات المعادلة، يمكن فك الرقم 10^{-8} بإدخاله فى الأقواس الداخلية.

$$= 5.77 \times [(313/100)^4 - (290/100)^4]$$

$$= 5.77 \times (95.98 - 72.7) = 23.3 \ watt/m^2$$

ويلاحظ أن كمية الطاقة المفقودة من السقف تزداد ليلاً، حيث لا تنخفض درجة حرارة سطح المبنى بسرعة نتيجة كتلته الحرارية، بينما تنخفض درجة حرارة الهواء، وبالتالى درجة الحرارة الإشعاعية للسماء.

وإذا أردنا حساب نفس القيمة للحوائط الرأسية سنلاحظ بعض الاختلاف فمعامل مواجهة السطح للسماء يساوى الواحد الصحيح، بينما معامل مواجهة الحائط الرأسى لا يزيد عن ٠,٥ إذا لم يوجد عوائق.

ولهذا يقل الفقد من الحوائط ففى نفس الظروف المذكورة ودرجة حرارة ٤٠ْ م لسطح الحائط نجد أن معدل فقد الحرارة يساوى نصف معدل فقده الحرارة من السقف.

$$q_{wall} = \text{sky snape factor} \times q_{sky} = 23.3 \times 0.5 = 11.65 \ watt$$

وهكذا تدخل قيمة الإشعاع المفقودة بالإشعاع طويل الموجة فى معادلة اتزان الطاقة لسطح الحائط.

المعادلة الأصلية فى كتاب واطسون ص ٦٢

$$T_{sky} = (0.742 + 0.0015 \ T_d)^{0.25} (T_o + 459.7)$$

درجة حرارة السماء المؤثرة (رانكن) T_{sky} (Ranken)

نقطة الندى (dew Point) T_d (Fehrenhite)

درجة حرارة الهواء T_o (Fehrenhite)

وبتحويل الوحدات البريطانية إلى وحدات دولية تصبح المعادلة:

$$T_{sky} = [0.742 + 0.0027 \ T_d (؛C)]^{0.25} [T_o (؛K)]$$

وفى المثال السابق :

إذا افترضنا أن درجة حرارة الهواء ٣٠ْ م، والرطوبة النسبية ٥٠ % ، نجد أن:-

نقطة الندى تبلغ ٩ْ م (من الخرائط السيكومترية أو البديل الرقمى لها) وبالتعويض بالمعادلة:-

[١] Watson, labs, Climatic Design p p. 62

$$T_{sky} = [\ 0.742 + 0.0027 \times 19\ (؛C)\ ]^{0.25}\ [303\ (؛K)\ ]$$
$$= (\ 0.8413)^{0.25} \times (303)$$
$$= 0.95772 \times 303$$
$$= 290.2\ ؛$$
$$= 17.2\ ؛$$

أى أن أقل من درجة حرارة الهواء بحوالى ٣ْ م

والحائط الرأسى يتناول الإشعاع الحرارى أيضاً مع المبانى المحيطة وعناصر المحيط العمرانى مثل الطرق والأرضية والمساحات المزروعة، وكذلك الأشجار والمظلات، وجرى العرف على إهمال قيمة هذا المتغير على أساس أن ما يفقده المبنى يقارب ما يكتسبه منها، ولكن عند الحساب الدقيق لتقييم التأثير السلبى أو الإيجابى للقرارات العمرانية على التصميم المناخى، لابد من حساب هذه التأثيرات، والتى تتمثل فى :-

١- الإشعاع الحرارى من المبنى باتجاه عناصر محيطه العمرانى (الأرض والمبانى الأخرى اختصاراً).
٢- الإشعاع الحرارى المنبعث من الأرض والمبانى نتيجة حرارتا.
٣- الإشعاع الشمسى المنعكس من الأرض والمبانى.

ولحساب كل هذه التأثيرات يتم حساب كل منها على حدة بالنسبة لكل مبنى على حدة، بل لكل واجهة على حدة، وكذلك لكل عنصر من عناصر تنسيق الموقع.

الإشعاع الحرارى المنعكس من عناصر المحيط العمرانى:-

أ- الأرض:

يسقط الإشعاع الشمسى المباشر والمشتت على الأرض، فيتم انعكاسه فى صورة إشعاع مشتت، وتختلف درجة انعكاس الإشعاع الشمسى تبعاً للون عنصر الأرضية وملمسه، فالأسفلت مثلاً قد يمتص ٩٠ % من الإشعاع الساقط عليه، بينما تعكس التبليطات الفاتحة حوالى ٦٠ % - ٧٠ % من الأشعة الساقطة عليها، وتعكس المسطحات الخضراء حوالى ٣٠ % من الإشعاع الساقط، وتعكس المساحات الرملية الفاتحة ما يزيد على ٧٠ % من الأشعة الساقطة.

ولحساب تأثير كل من هذه المساحات على الاتزان الحرارى لسطح المبنى يتم تحديد :

١- حدود كل مسطح من هذه المسطحات فى الموقع.
٢- معامل المواجهة بين هذا السطح وواجهة المبنى.
٣- شدة الإشعاع الشمسى المنعكس عن السطح.
٤- امتصاصية واجهة المبنى للإشعاع الشمسى.

الحساب العددى لكمية الإشعاع الشمسى المنعكس:

إن أكبر مشكلة تواجه عملية حساب انتقال الإشعاع المشتت بين الأسطح المختلفة هى عملية تحديد معامل المواجهة بين هذه الأسطح، فكل نقطة من سطح الأرض تسقط عليه أشعة الشمس تعكسها فى

كل الاتجاهات بالتساوى. مثلما تقوم النقطة الداورة لها بنفس العملية بحيث يصبح نمط الإشعاع غابة من الإشعاعات تسير من كل مكان لكل مكان!!

ولنحاول فهم المشكلة بالقدر الذى يسمح حلها عددياً، نفترض أننا نتعامل مع نقطة صغيرة جداً[1] تقع على سطح الأرض (سطح١)، فهذه النقط تشتت الأشعة فى كل الاتجاهات، هناك جزء فقط من هذه الأشعة يسقط على السطح ب، يجب تحديد نسبة ما يصل إلى هذا السطح من الإشعاع الصادر عن نقطة١ .

يتوقف ذلك على :-

١- مساحة السطح ٢ .

٢- زاوية سقوط الأشعة القادمة من نقطة ١ .

٣- البعد بينه وبين النقطة ١ .

ولمحاولة تصور هذه المشكلة بصرياً، سنفترض أن الإشعاع يتم فى بعدين فقط كما هو مرسوم على الورقة.

إن نسبة ما يصل للسطح ٢ فى هذه الحالة هو نسبة الزاوية (A) على كل الزاوية التى يتم الإشعاع فى اتجاهها (وهى ١٨٠° م)

ولكن لما كان الإشعاع ينتشر فى الأبعاد الثلاثة، فإن ما بينهما هنا هو تحديد الزاوية الدسمة ونسبتها من القبة (نصف الكرة) التى يرسل عليها الإشعاع.

ويتم تحديد الزاوية بالخطوات التالية:

١- إسقاط السطح ٢ على قبة افتراضية تمر بمركزه، ومركزها هو النقطة (١)، فيصبح مساحة مسقط السطح ٢ (الذى يواجه الأشعة القادمة من النقطة (١) عمودياً) أقل من المسطح الأصلى للسطح، ويتوقف هذا البعد على زاوية سقوط الأشعة على سطح ٢، وهى نفس زاوية انحراف محور السطح ٢ عن اتجاه الأشعة (قطر الكرة فى هذه الحالة).

وتبلغ مساحة هذا المسقط:

$$A2_{dome} = A2 \cos \square_2$$

والزاوية الدسمة w التى نحاول حسابا تحدد بالمعادلة :

$$w = A_{dome} / r^2$$

حيث A_{dome} هى مساحة مسقط السطح على القيمة الافتراضية، و r^2 هو مربع نصف قطرها.

وبذلك تكون قيمة هذه الزاوية :

$$w = A_2 \cos \square_2 / r^2$$

إذا قلنا أن كمية من الإشعاع ينعكس من سطح ما بقدرة إجمالية ٣٠٠وات مثلاً، فإننا نعرف أن هذه الطاقة تنعكس فى كل الاتجاهات، فما هى شدة الإشعاع المنبعث عمودياً على السطح تساوى $1 / \square$ من قيمة الإشعاع الإجمالى المنعكس أو المنبعث[٢]

$$I_{normal} = A_{1e} / \square$$

حيث شدة الإشعاع العمودية على وحدة الزوايا الدسمة.

[1] كارليكار ودزموند، انتقال الحرارة، ص ٤١٦

[٢] كارليكار ودزموند، انتقال الحرارة، ص ٤١٦

و إجمالى الطاقة المنبعثة من وحدة المسطحات فى وحدة الزمن.

وتكون الأشعة الصادرة من السطح A1 فى اتجاه معين يميل بزاوية θ_1 على محور التعامد على A_1 مساوية للأشعة العمودية مضروبة فى جيب تمام الزاوية:

$$e_{\theta 1} = A_1 \, e_1 \cos \theta_1 / \pi$$

ولما كان ما يهمنا سابه ليس هو كل الإشعاع فى هذا الاتجاه، بل ما يسقط منه على السطح A2 ، لذلك تستخدم المعادلة:

$$q_{1-2} = e_{\theta 1} \times w$$

والتى يتم التعويض فيها لاستنتاج المعادلة:

$$q_{1-2} = [A_1 e_1 \cos \theta_1 / \pi] \, [A_2 \cos \theta_2 / r^2]$$

$$q_{1-2} = A_1 e_1 A_2 [\cos \theta_1 \cos \theta_2 / \pi r^2]$$

= A1كل الطاقة الصادرة من السطح

ولنحاول فهم المشكلة بالقدر الذى يسمح حلها عددياً، نفترض أننا نتعامل مع نقطة صغيرة جداً تقع على سطح الأرض (سطح١)، فهذه النقط تشتت

الأشعة فى كل الاتجاهات، هناك جزء فقط من هذه الأشعة يسقط على السطح ب، يجب تحديد نسبة ما يصل إلى هذا السطح من الإشعاع الصادر عن نقطة ١.

يتوقف ذلك على :-

١- مساحة السطح ٢ .

٢- زاوية سقوط الأشعة القادمة من نقطة ١ .

٣- البعد بينه وبين النقطة ١ .

ولمحاولة تصور هذه المشكلة بصرياً، سنفترض أن الإشعاع يتم فى بعدين فقط كما هو مرسوم على الورقة

إن نسبة ما يصل للسطح ٢ فى هذه الحالة هو نسبة الزاوية (A) على كل الزاوية التى يتم الإشعاع فى اتجاهها (وهى ١٨٠ م).

ولكن لما كان الإشعاع ينتشر فى الأبعاد الثلاثة، فإن ما بينهما هنا هو تحديد الزاوية المسمة ونسبتها من القبة (نصف الكرة) التى يرسل عليها الإشعاع.

ويتم تحديد الزاوية بالخطوات التالية:

١- إسقاط السطح ٢ على قبة افتراضية تمر بمركزه، ومركزها هو النقطة (١)، فيصبح مساحة مسقط السطح ٢ (الذى يواجه الأشعة القادمة من النقطة (١) عمودياً) أقل من المسطح الأصلى للسطح، ويتوقف هذا البعد على زاوية سقوط الأشعة على سطح ٢، وهى نفس زاوية انحراف محور السطح ٢ عن اتجاه الأشعة (قطر الكرة فى هذه الحالة).

وتبلغ مساحة هذا المسقط:

$$A2_{dome} = A2 \cos \theta_2$$

والزاوية المسمة w التى نحاول حسابا تحدد بالمعادلة :

$$w = A_{dome} / r^2$$

حيث A_{dome} هى مساحة مسقط السطح على القيمة الافتراضية، و r^2 هو مربع نصف قطرها.

وبذلك تكون قيمة هذه الزاوية :

$$w = A_2 \cos \theta_2 / r^2$$

إذا قلنا أن كمية من الإشعاع ينعكس من سطح ما بقدرة إجمالية ٣٠٠وات مثلاً، فإننا نعرف أن هذه الطاقة تنعكس فى كل الاتجاهات، فما هى شدة الإشعاع المنبعث عمودياً على السطح تساوى $1 / \pi$ من قيمة الإشعاع الإجمالى المنعكس أو المنبعث[1]

$$I_{normal} = A_{1e} / \pi$$

حيث شدة الإشعاع العمودية على وحدة الزوايا المسمة.

و إجمالى الطاقة المنبعثة من وحدة المسطحات فى وحدة الزمن.

وتكون الأشعة الصادرة من السطح A1 فى اتجاه معين يميل بزاوية θ_1 على محور التعامد على A_1 مساوية للأشعة العمودية مضروبة فى جيب تمام الزاوية:

$$e_{\theta 1} = A_1 e_1 \cos \theta_1 / \pi$$

ولما كان ما يهمنا سابه ليس هو كل الإشعاع فى هذا الاتجاه، بل ما يسقط منه على السطح A2 ، لذلك تستخدم المعادلة:

$$q_{1-2} = e_{\theta 1} \times w$$

والتى يتم التعويض فيها لاستنتاج المعادلة:

$$q_{1-2} = [A_1 e_1 \cos \theta_1 / \pi] [A_2 \cos \theta_2 / r^2]$$

$$q_{1-2} = A_1 e_1 A_2 [\cos \theta_1 \cos \theta_2 ./ \pi r^2] \text{ ------- 5}$$

كل الطاقة الصادرة من السطح A1 =

$$q_1 = A_1 e_1 \text{ ---------- 6}$$

ولما كان تعريف معامل المواجهة أنه نسبة الأشعة الصادرة نحو سطح ٢ من سطح ١، يتكون معامل المواجهة (١-٢)

$$F_{1-2} = q_{1-2} / q_1$$

وبقسمة المعادلتين 5 على 6

$$F_{1-2} = A_2 [\cos \theta_1 \cos \theta_2 ./ \pi r^2]$$

وتعمد الطرق التحليلية لإجراء تكامل لمعامل المواجهة هذا على كامل مسطح السطحين A2 , A1 ، بحيث يتم حساب معامل المواجهة الهام بين السطحين.

أما الطرق العددية فهى تستخدم المعادلة 5 مباشرة على مسطحات صغيرة من كل من السطحين، حيث يتم تقسيم كل سطح إلى عدد كبير من الوحدات المساحية تامة التحديد finite elements يفترض أنا متناهية الصغر لدرجة تكفى لاعتبار أن زاوية سقوط الأشعة ثابتة بين كل نقاط السطحين مثل الوحدة الصغرى التى تم على أساسها حساب المعادلات السابقة، وبدلاً من إجراء التكامل، يتم إجراء عملية تكرارية لحساب عملية انتقال الحرارة بالإشعاع بين كل عنصرين، وحساب الطاقة المنتقلة مباشرة.

وتعطى هذه الطريقة ميزة عند التعامل مع موقع عمرانى حقيقى، حيث يمكن إعطاء كل وحدة مساحية صغيرة خواص ضوئية وحرارية مختلفة، فنوع من الوحدات قد يكون من العشب الأخضر، ووحدات أخرى من الأسفلت الأسود، وهكذا مما يجعل من تمثيل كل خواص الموقع عملية ممكنة.

[1] كارليكار ودزموند، انتقال الحرارة، ص ٤١٩

كما يمكن أيضاً تجميع النقاط المتماثلة والمتلاصقة فى وحدة واحدة، يتم حساب معامل مواجهتها لحائط المبنى بجمع عوامل مواجهة كل منها، بحيث يتم التعامل معها.

ولاختيار مقاسات الوحدات الصغيرة من الأسطح، تزداد الدقة كلما صغرت مساحة الوحدات وزاد عددها، ولكن ذلك يكون على حساب سرعة الحسابات وتعقيدها، لذا تختلف المقاسات من حالة لحالة.

فى حالة التصميم التفصيلى لعناصر المبنى وأنماطه وعلاقته بتفاصيل الموقع، يمكن استخدام شبكة ١م × ١م لأسطح المبانى، مع شبكات ٢م × ٢م لعناصر تصميم الموقع، أما فى حالة تصميم تجمع عمرانى تصمم عدة مبانى، فيكون من المفيد تقسيم حوائط المبانى إلى وحدات ٣م × ٣م أو ٣م × ٤م ، لتمثل كل منها حائط غرفة (مما يفيد فى الحسابات الداخلية)، ويقسم الموقع إلى وحدات فى حدود ٤م × ٤م إلى ٦م × ٦م .

وليس هناك قاعدة ثابتة فى ذلك، فدقة التقسيم من المتغيرات التى يقوم المصمم بتحديدها بناءاً على خبرته، وأهدافه وطبيعة ظروف المشكلة، والأرقام المذكورة بعالية هى مجرد مؤشرات عامة.

الخطوات التى يقوم بها الحاسب الآلى لحساب كميات الحرارة المنتقلة والإشعاع بين سطحين وتحديد معامل المواجهة لها:

١- يتم تقسيم الأسطح إلى وحدات محددة .

٢- يتم اختيار وحدة من كل حائط لدراسة علاقتها بالأخرى،

فى هذا المثال يستخدم الوحدتين $A_{2,4}$ - $A_{3,3}$.

٣- يتم حساب مساحة كل وحدة .

٤- يتم حساب الزاويتين θ_1 ، θ_2 بمعلومية المواقع الجيومترية لمركزى الوحدتين.

٥- يتم تضييق المعادلة (5 - 4) لتحديد كمية الطاقة المنتقلة بمعلومية الخواص الإشعاعية للسطحين، وكذلك معامل المواجهة للوحدتين.

٦- تكرر العملية للوحدة A_{33} مع كل وحدات السطح B.

٧- تكرر نفس الخطوات السابقة لكل وحدة من وحدات سطح A .

٨- يتم تجميع كل الطاقة المنتقلة من عناصر السطح A إلى عناصر السطح B .

٩- يتم تجميع معاملات المواجهة لتحديد معامل المواجهة العام بين السطحين A- B .

١٠- يتم تخزين هذه المعاملات فى ملفات خاصة بحيث يتم استخدامها فى دورات التشغيل التكرارية التالية.

وتحتاج هذه العملية المعقدة لاستخدام بنية معلومات شديدة الكفاءة للتعامل مع هذا العدد الكبير من المتغيرات ذات العلاقات المركبة، فالموقع العمرانى لا يشمل سطحين فقط، بل عشرات الأسطح التى يجب تقسيمها إلى وحدات صغرى، وحساب معامل مواجهة كل منها مع كل الوحدات الأخرى.

وفى الفصل الخامس باستخدام برامج التصميم المناخى فى التصميم العمرانى، يتم مناقشة كيف يتم اختيار تقنية التعامل الرقمى مع هذه المشكلة، بحيث لا تتعقد العملية بقدر أكبر من المطلوب.

كيف يتم حساب قيمة الأشعة المنعكسة؟

١- يتم تحديد شدة الإشعاع الشمسى العمودى المباشر I_{dn} .

٢- يتم تحديد زاوية سقوطه على السطح.

٣- يتم تحديد انعكاسية السطح R_{solar} .

٤- يتم رمى ظل عناصر الموقع العام لتحديد الوحدات المظللة والمضاءة.

٥- يتم حساب الطاقة الساقطة على الوحدات المضاءة.

$$I_d = I_{dn} \cos\square$$

٦- يتم حساب كمية الإشعاع المنتشر من السماء الساقط على كل وحدة بمعلومية معامل مواجهتها للسماء وقيمة الإشعاع الشمسى المنتشر.

$$I_{dif} = F_{point-sky} \times I_{diff}$$

٧- يتم حساب الأشعة المنعكسة من الوحدة.

$$I_r = (I_d + I_{diff}) \times R_{solar}$$

٨- تعتبر كمية الطاقة هذه هى (L) المستخدمة فى معادلة (5 - 4) لحساب معدل انتقال الحرارة بالإشعاع.

٩- بالنسبة للوحدات المظللة، يتم احتساب الحرارة الشمسية على أساس $I_{difused}$ فقط، وتكرر نفس الخطوات.

الأشعة المنبعثة نتيجة درجة حرارة الأرض

١- يتم حساب درجة الحرارة الشمسية لكل الأسطح الصلبة فى الموقع، بالمعادلة:

$$Tsa = Tair + [\text{net solar gain of energy}] \times [\text{surface risistance}]$$

$$\text{net solar gain} = [I \text{ diffused} + I \text{ direct} - \text{Assumed value of rediated energy}]$$

تفرض للأسطح الأفقية قيمة الحرارة المعاد بثها للسماء بـ ١٠٠ وات/م٢ إذا لم تتوافر طريقة أدق للتنبؤ المبدئى بها.

٢- يتم حساب كمية الإشعاع التى تنتشر من الوحدة المحددة باستخدام قانون ستيفان بولتزفان ومعلومية خواص السطح الإشعاعية ودرجة حرارته الشمسية

$$e = \square \times 5.77 \times 16 \times (T/100)^4$$

أما المناطق المظللة فلا ينطبق عليها ذلك بسبب تبريدها بالتبخير، ولم تتوافر للباحث حتى هذه اللحظة معلومات عن كيفية استنتاج درجة حرارة أوراق النباتات، ولكن من الملاحظات العامة أن درجة حرارة المسطحات المزروعة تقل درجة حرارتها عن درجة حرارة الهواء بحوالى ٥ درجات، ويمكن استخدام هذه القيمة كدرجة حرارة المسطحات الخضراء.

$$T_{grass} = T_0 - 5 \text{ ؛C}$$

وتبقى هذه المعادلة بحاجة لكثير من البحث لإثباتها أو اكتشاف غيرها، وهو عمل بحثى يقع فى نطاق المتخصصين فى فسيولوجيا النبات.

انتقال الأشعة من المبانى المحيطة :

ينطبق على المبانى ما ينطبق على الأرض فى خواص انتقال الحرارة بالإشعاع باستثناء اختلاف عملية تحديد معاملات المواجهة مع السماء.

كما أن المبانى تقوم بإلقاء الظلال على الأرض، وتحمى بعض وحدات الأرض من التعرض للشمس المباشرة، وسيتم شرح كيفية إظلال هذه المسطحات فى الباب الخاص بالتطبيقات على التصميم العمرانى، حيث يتم شرح طريقة إلقاء المبانى للظل على الأرض وعلى المبانى الأخرى.

تعليق:

أ- إن الطريقة السابق شرحها لحساب الطاقة المنتقلة بالإشعاع بين سطحين وحساب معامل المواجهة بينهما هى طريقة تجمع بين أسلوب علوم انتقال الحرارة فى حساب معاملات المواجهة عن طريق التكامل على معادلة التبادل الإشعاعى لوحدات متناهية فى الصغر، مع تطبيق أسلوب الحلول العددية والوحدات تامة التحديد بتقسيم المسطحات الكبيرة إلى مسطحات صغيرة ينطبق عليها معادلة التبادل الإشعاعى بين الوحدات متناهية الصغر (معادلة 5 - 4)

والطريقة مثبتة تحليلياً، حيث أن كل خطواتا موثقة، كما يمكن إثباتا بالمقارنة بالطرق الأخرى، وذلك عن طريق مقارنة نتائجها فى استنتاج معامل المواجهة بالطرق البيانية المنشورة فى مراجع علم انتقال الحرارة.

ب- هذه الطريقة العامة بالغة الصعوبة والتعقيد عند محاولة استخدامها يدوياً ولكنها تتناسب تماماً مع طريقة عمل الحاسب الآلى الذى يستطيع إنجاز المهام التكرارية الطويلة.

جـ - يمكن تفادى استخدام الطريقة العامة فى حالة الرغبة فى دراسة متغيرات أبسط، فمثلاً لو احتاج المصمم العمرانى للمقارنة بين الجدوى المناخية لاستخدام مسطحات خضراء مزروعة، أو استخدام تبليطات عادية أو أسفلت، سيحتاج للتمثيل التفصيلى لعناصر الأرض وبالتالى لابد من استخدام الطريقة العامة المعقدة.

أما لو احتاج لتقييم تأثير أوضاع المبانى أو ارتفاعاتا، فلا داعى لتمثيل الأرض بشكل معقد، يكفى باعتبارها مسطحاً واحداً سهداً ذو خواص متوسطة، والاكتفاء بإلقاء الظلال عليه، بل ويمكن حساب نسبة الإظلال كمعامل تخفيض لكمية الأشعة المتبقية من كامل مسطح الأرض بدلاً من حساب الأشعة المنبعثة من كل وحدة مظللة على حدة.

وكذلك يمكن التبسيط باعتبار كل المبانى المحيطة حائط واحد له خواص إشعاعية واحدة فى حالة استخدام نسيج عمرانى شريطى.

إن تأثير هذه القرارات على دقة النتائج لن يتضح إلا بعد استخدام برنامج تمثيل المحيط العمرانى لفترة طويلة فى مواقف متعددة لتحديد الظروف الأكثر ملائمة لاستخدام كل أسلوب.

٤- درجة حرارة الهواء الداخلى

من الأهداف الرئيسية لعملية التمثيل الرقمى التنبؤ بدرجة حرارة الهواء، وهى أهم متغير مؤثر فى الراحة الحرارية. ولكن هذه المهمة تتسم بالصعوبة.

فالهواء شديد الحساسية للتغيرات الحرارية، فبسبب سعته الحرارية الصغيرة جداً ترتفع درجة حرارته بشدة بمجرد امتصاصه لأقل قدر من الطاقة، وبسبب هذا الارتفاع السريع تزداد درجة حرارته عن درجة حرارة الأسطح المحيطة به مما يجعلها تمتص الطاقة منه، ولنفس السبب (انخفاض السعة الحرارية) تعمل هذه الطاقة المفقودة على عودته إلى درجة حرارته الأصلية بسرعة.

لذلك تؤثر مدة الفترة الزمنية لوحدة التكرار الزمنى على دقة النتائج التى تتضمن تغيراً فى كمية الطاقة التى يمتصها الهواء، فمصباح كهربى مثلاً قدرة ١٠٠ وات، يمكن أن يعطى الهواء خلال ساعة واحدة ٠,١ ك.و.س. ، وهى كمية من الحرارة تكفى لرفع درجة حرارته بمقدار ٥٠° م !!!

وإذا تم اختيار وحدة التكرار الزمنى (ساعة) يتسبب هذا فى نتائج غريبة جداً، حيث سترتفع درجة حرارة الهواء (افتراضيا) داخل الغرفة إلى ٧٠° م، ثم فى الساعة التالية يفترض انتقال الحرارة من الهواء إلى الحوائط الأبرد بكمية كبيرة مما قد يهبط بدرجة الحرارة الافتراضية إلى ما يقارب الصفر المئوى وهى كلها أرقام بعيدة تماماً عن الواقع، ويعنى ظهورها أن النظام العددى أصبح تباعدياً وليس تقاربيا، ويمكن أن يطلق على هذه الحالة (انهيار النظام العددى).

وللتغلب على ذلك يتم إتباع أحد سبيلين:-

١- تقليل الفترة الزمنية التكرارية إلى أقل قدر ممكن (١ دقيقة - ١٠ دقائق على الأكثر) بحيث تصل درجة حرارة الهواء الافتراضية إلى مقادير تبعد كثيراً عن الواقع فى حدود تذبذب + أو - ٢° م، بحيث يمكن عند جمع متوسط درجات الحرارة أثناء الساعة تحديد القيمة الحقيقية.

٢- عدم احتساب تأثير المصباح على درجة حرارة الهواء مباشرة، بل اعتبار إن الطاقة الحرارية الصادرة عنه تمتصها الحوائط بالإشعاع، لتسخينه ثم تعيد تسخين الهواء (وهو بالفعل ما يحدث)، مما يعنى أن الطاقة الحرارية ١٠٠وات سترجع على الحوائط، ولو افترضنا أن التوزيع سيتم على الحوائط والأسقف بالتساوى لكان نصيب كل حائط ٦/١ من الإشعاع الإجمالى أما حوالى ١٦ وات أو (٠,٠١٦ك.و.س)، وهو ما يرفع درجة حرارة الحائط أثناء الساعة بما لا يزيد على درجة مئوية واحدة، وهى القيمة التى يمكن حسابا بالفعل عن طريق افتراض انتقال الحرارة للهواء ولكن باستخدام فترة تكرارية زمنية شديدة الصغر لا تتعدى دقيقة واحدة.

إن انتقال الحرارة من مصادرها الداخلية إلى هواء الغرفة يتم بطريقتين:

الأولى:- عن طريق التسخين المباشر للهواء بالحمل.

والثانية:- بتسخين حوائط وأسقف الفراغ عن طريق التوصيل أو الإشعاع، والتى تعيد تسخين الهواء بعد ذلك بالحمل.

وتختلف مصادر الحرارة الداخلية عن بعضها البعض فى ذلك، فالمصباح الكهربى مثلاً يخرج معظم طاقته فى صورة إشعاع تمتصه الحوائط والأسقف والأرضيات والأثاث، سواء بشكل مباشر أو بعد بضع انعكاسات متكررة تنتهى بامتصاص كامل طاقته الإشعاعية، بينما تسخين جسم المصباح وتسخين الهواء الملامس له بالحمل، كما يمتص الهواء قدراً ضئيلاً من الإشعاع الذى يمر به تبعاً لنسبة الرطوبة والشوائب (وهى كمية يمكن إهمالها عادةً).

إذن يمكن افتراض أن ٩٥ % من طاقة المصباح تنتقل مباشرة للحوائط، و ٥ % تنتقل مباشرة للهواء.

أما جسم الإنسان مثلاً فهو يصدرتقريبا ٥٠ % من طاقته بالحمل و ٥٠ % بالإشعاع، وتختلف هذه النسبة تبعاً لظروف متعددة مثل الفرق بين MRT وحرارة الهواء، وكذلك سرعة حركة الهواء، أما موقد الغاز مثلاً فيخرج معظم طاقته الحرارية عن طريق تسخين الهواء بالحمل.

وللتنبؤ الدقيق بالتغير فى درجة الحرارة داخل الفراغ نتيجة الأحمال الحرارية الداخلية، يجب تحديد نسبة الطاقة الحرارية التى تنتقل مباشرة للهواء بالحمل، وتلك التى تنتقل إليه بشكل غير مباشر عن طريق الإشعاع، والتعامل مع كل منها بالطريقة الملائمة حسابياً.

ومن الملاحظ أنه كلما زادت نسبة الطاقة الصادرة بالإشعاع، كلما كان النظام الرقمى أكثر استقراراً، وكلما أمكن استخدام فترات زمنية تكرارية أكبر، حيث تنتقل الحرارة إلى أجسام ذات سعة حرارية كبيرة (الحوائط) أما فى حالة زيادة نسبة الطاقة الصادرة بالحمل، فالنظام الرقمى سيصبح أكثر حساسية، وستحتاج إلى تصغير الفترة الزمنية التكرارية، حتى لا تظهر قراءات مرحلية غير منطقية.

ولتبسيط طريقة الحساب، جرى العرف على افتراض أن كل الطاقة تنتقل إلى الفراغ مباشرة، فالهدف فى النهاية حساب كمية الطاقة الحرارية التى يجب على نظام التكييف انتزاعها من الفراغ، ولن يمثل طريق انتقال الحرارة فارقاً جوهرياً.

أما فى حالة وضع التنبؤ بدرجة الحرارة الداخلية كهدف رئيسى (وليس حساب الأحمال) فمن الهام عدم افتراض أن الطاقة ستنتقل كلها بالحمل، بل إذا أردنا التبسيط، فمن الأفضل افتراض أن كل الحرارة ستنتقل بالإشعاع إلى جسم المبنى أولاً ثم إلى الفراغ، وذلك للاستفادة (حسابياً) من الاستقرار الحرارى لجسم المبنى بسبب سعته الحرارية الكبيرة مقارنته بالهواء، فى حفظ استقرار نظام الحل العددى، وزيادة كفاءته.

وتظهر فائدة هذا الحل بشكل كبير عن التعامل مع فراغات ذات عزل حرارى داخلى، حيث يتعذر انتقال الحرارة من المصادر الداخلية عبر الطبقات العازلة، وهكذا يمكن أن ترتفع درجات الحرارة بشكل كبير داخل الفراغ (عملياً) ولكنها قد ترتفع إلى درجات حسابية غير منطقية بسبب الافتراضات البسيطة لعملية انتقال الحرارة عبر سطح الحائط.

ولذلك لابد من استخدام نموذج تمثيلى للحائط لا يهمل السعة الحرارية للطبقة العازلة للحرارة وأى طبقات حامية لها، وكذلك استخدام فترات زمنية تكرارية صغيرة حتى لا ترتفع درجة الحرارة المحسوبة فى الهواء أو المادة العازلة إلى قيم أكبر بكثير من القيم العملية وتؤدى إلى انيار استقرار النظام الرقمى.

وبالاضافة لأهمية تمثيل الحوائط بشكل يحافظ على استقرار نظام التمثيل، فمن الهام أيضا الحرص عند احتساب تأثير الطاقة الحرارية المارة من النوافذ فى صورة اشعاع (خاصة المباشر)، حيث يمكنها بسهولة رفع درجات حرارة الهواء حسابيا لدرجة انيار النظام، لذا يفضل عدم اضافة هذه الطاقة للهواء، بل توزيعها على الحوائط فى صورة اشعاع مشتت، سواء بالتساوى عند استخدام نموذج مبسط، أو بحساب معاملات المواجهة وانعكاسية كل حائط على حدة فى النماذج الأكثر تعقيدا ودقة.